

LUCIANO GONZALEZ GARCIA  
EDUARDO GUIBELALDE DEL CASTILLO  
MARGARITA CHEVALIER DEL RIO

*Dres. en Ciencias Físicas  
Cátedra de Física Médica,  
Departamento de Radiología  
y Medicina Física de la Universidad  
Complutense de Madrid.*

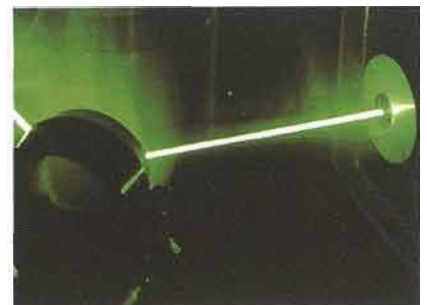
# EL LASER: principio de funcionamiento aplicaciones y protección



**E**N la actualidad, cualquier aplicación científica que requiera el depósito de grandes cantidades de energía sobre superficies pequeñas, o la utilización de un haz de luz especialmente intensa o monocromática, o con ambas propiedades, se apoya en la tecnología del láser. Aparte de estas propiedades, el láser proporciona un haz luminoso de muy pequeña divergencia y de gran direccionalidad, que puede ser focalizado mediante dispositivos ópticos muy simples.

Las características reseñadas hacen que la gama de aplicaciones se vea en continuo aumento, a la vez que se desarrolla una creciente actividad investigadora para conocer en detalle aspectos relativos a efectos de esta energía sobre medios materiales específicos, incluyendo el material biológico. De hecho, tal como se comentará, junto a los efectos puramente energéticos aparecen reacciones fotoquímicas de enorme interés en el dominio médico.

La idea en que se basa el láser es relativamente simple y, si se tiene en



cuenta que su desarrollo parte de un estudio que llevó a cabo Einstein a principios de siglo, es desde luego menos original que la tecnología puesta en juego para llevarla a la práctica en buena parte de ocasiones. Curiosamente, Einstein no intuyó la importancia que el citado estudio conllevaba.

Una primera característica que va a permitir diferenciar un haz luminoso convencional de uno láser es la propia composición. La luz ordinaria, aunque por la acción de filtros posea una tonalidad o color dominante, es el resultado de la mezcla de ondas elementales de muchas frecuencias o colores. La luz blanca, en el límite, posee en su composición todas las frecuencias, calificándola con el término «isoenergética», en atención a que las citadas ondas elementales contribuyen con la misma intensidad a la resultante. Por el contrario, la luz láser puede considerarse compuesta por una única frecuencia o color, esto es, se trata de luz monocromática.

La segunda propiedad que diferencia la luz láser de la generada por otro medio convencional es que se trata de luz coherente, esto es, es susceptible de interferir. Por el contrario, la luz de cualquier foco observable en la naturaleza recibe el nombre de incoherente. La diferencia cualitativa radica en que, en el primer caso, cuando en un punto del espacio y en un instante de tiempo se superponen dos haces luminosos, se producen efectos de suma-ción, que se manifiestan en forma de franjas alternantes, claras y oscuras (interferencias) y en el segundo, no.

En tercer término, la pequeña divergencia del haz láser y su gran direccionalidad permiten enfocar la potencia generada en el dispositivo sobre superficies muy reducidas, consiguiendo así enormes intensidades. Por contra, la energía de luz del sol, o de la lámpara de incandescencia se reparten en todas las direcciones del espacio, dando lugar a intensidades comparativamente muy pequeñas. Para ilustrar esta afirmación baste decir que el brillo de un láser de 1 mw, con una divergencia en el haz luminoso y una sección transversal normales, puede llegar a ser del orden de un millón de veces más intenso que el de la esfera solar, a la longitud de onda en cuestión.

## APLICACIONES

Las características de la radiación emitida por las fuentes láser dieron lugar, desde un primer momento, al

*La idea en que se basa el láser es relativamente simple y, si se tiene en cuenta que su desarrollo parte de un estudio que llevó a cabo Einstein a principios de siglo, es desde luego menos original que la tecnología puesta en juego para llevarla a la práctica, en buena parte de ocasiones.*



nacimiento de importantes perspectivas en cuanto a sus posibles utilidades. Sin embargo, la amplia gama de láseres que han sido diseñados en los últimos tiempos y las innovaciones tecnológicas, que permiten tanto controlar el espectro de salida de la radiación como la potencia emitida, han traído como consecuencia que las actuales aplicaciones superen con mucho a las originalmente previstas.

## LASERES EN LAS AREAS INDUSTRIAL Y MILITAR

En estas aplicaciones, el láser es utilizado como fuente de energía térmica que permite soldar, cortar, taladrar, fundir y evaporar diferentes materiales. Las ventajas que ofrece el láser en estas funciones frente a las ofrecidas por las técnicas con-

ventionales se pueden resumir en que:

— La radiación láser es una forma de energía muy «limpia», que no requiere poner materiales contaminantes en contacto con la pieza de trabajo.

— El haz láser puede ser focalizado sobre áreas muy pequeñas sin que las zonas colindantes se vean afectadas.

— La potencia suministrada por el láser puede ser controlada más fácilmente que con otros métodos.

— El haz láser puede ser dirigido a zonas relativamente inaccesibles a través de fibras ópticas.

— La mayor parte de la energía que transporta el haz se deposita en zonas muy próximas a la superficie, lo que hace que las zonas profundas no sean afectadas.

Los láseres más comúnmente utilizados en estas aplicaciones son los de CO<sub>2</sub> y Nd:Yag. La potencia suministrada por estos láseres puede llegar a ser superior a 10<sup>6</sup> W, pudiendo emitirse bien en forma continua o bien en forma pulsada.

El láser también ha permitido superar los problemas inherentes a la perforación de agujeros en las cerámicas utilizadas en circuitos electrónicos. En el caso de materiales blandos, tales como la goma o el papel, la utilización de estas fuentes permite practicar agujeros sin deformar el material. En todos estos casos se utilizan láseres de alta potencia que emiten en forma pulsada.

Otra técnica de reciente desarrollo es la consistente en la grabación de marcas, códigos, números de serie y dibujos en diferentes productos, por medio de láseres.

El propósito es eliminar una pe-

queña cantidad de material de la superficie y esto puede hacerse de dos maneras diferentes; una de ellas consiste en usar espejos cuyo movimiento es controlado con ordenador. De este modo, el haz láser, una vez reflejado por los espejos, graba sobre la superficie la marca deseada. Esta técnica tiene una gran versatilidad, pero un elevado coste. La segunda consiste en la utilización de una máscara adaptada a la marca que se quiere grabar. Este método es mucho más económico que el anterior ya que lo único que se precisa es la adquisición del láser apropiado (CO<sub>2</sub> normalmente), pero es mucho menos versátil.

En el de cortado de materiales se persigue vaporizar el material muy rápidamente, intentando que la zona afectada sea lo más estrecha posible

*La pequeña divergencia del haz láser y su gran direccionalidad permiten enfocar la potencia sobre superficies reducidas y obtener enormes intensidades. El brillo de un láser de 1 mw, puede llegar a ser un millón de veces más intenso que el del sol.*

y no se deforme. Con la utilización de los láseres se consiguen velocidades de cortado que van desde 97 mm/s para el aluminio a 152 mm/s para el polietileno. La mayoría de los materiales pueden ser cortados con el láser de CO<sub>2</sub>, a excepción del aluminio, cobre y latón que presentan una reflectancia muy alta en la longitud de onda del láser de CO<sub>2</sub> (10,6 μm). En estos casos se utiliza el láser de Nd:Yag. El cortado láser de materiales no metálicos presenta importantes ventajas, ya que los cortes realizados son muy limpios y, como ocurre con el nylon, los bordes quedan sellados.

El láser utilizado como soldador se aplica, en la actualidad, en la industria pesada, tras el desarrollo de láseres de CO<sub>2</sub> con potencias de salida de varios cientos de kilovatios emitiendo en forma continua. Con ellos se han conseguido soldar plan-

chas de acero de decenas de mm. de espesor a una velocidad de algunos metros por minuto. Láseres de menor potencia (potencia media de 1 kW) de rubí, Nd:Yag, cristal de Nd, etc., son empleados para soldar marcapasos cardíacos, puentes ortodónticos, etc.

Es asimismo de especial interés su aplicación en los circuitos electrónicos de los modernos ordenadores. El soldado de estos circuitos se ha ido complicando al ir utilizando componentes electrónicos cada vez más diminutos, lo que ha llevado a la comercialización de equipos que realizan soldaduras a gran velocidad (superiores a las 40 por segundo) en circuitos con gran cantidad de conexiones en áreas reducidas.

## LASERES EN MEDICINA

En medicina, los primeros ensayos de cirugía láser en animales se realizaron en 1963, pocos años después de que fuera diseñado el primer láser de rubí (Maiman, 1960). En el año 1964 aparecen en la literatura los primeros resultados de la utilización del láser de rubí en una operación de desprendimiento de retina. A partir de este momento comienzan a realizarse estudios, centrados fundamentalmente, en la investigación de las aplicaciones quirúrgicas y sus posibles efectos secundarios. Conforme fueron diseñándose nuevos tipos de láseres, su uso se extendió al diagnóstico y la terapia.

La absorción de la radiación láser en el tejido biológico conduce fundamentalmente a dos tipos de efectos: térmico y fotoquímico.

El efecto térmico tiene lugar como consecuencia de la transformación de la energía absorbida por el tejido en calor, provocando un aumento de temperatura en el mismo. Las consecuencias de dicho aumento pueden ser agrupadas de la siguiente manera:

- Entre 60° C y 90° C se produce coagulación y desnaturalización de las proteínas.
- Aproximadamente a los 100° C el agua presente en los tejidos se evapora, dando lugar a la ruptura de células.
- Para temperaturas superiores a los 100° C, el material celular es destruido.

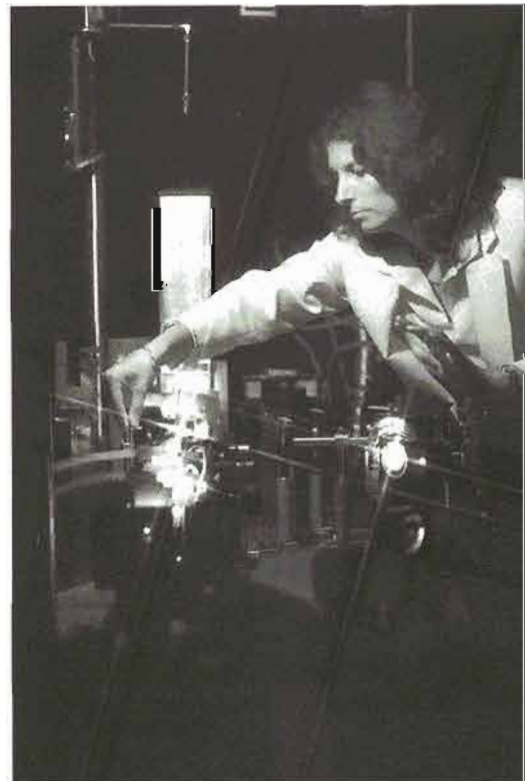
Los efectos fotoquímicos aparecen como consecuencia de que las moléculas presentes en el tejido tienen una banda de absorción a la longitud de onda en la que emite el láser. Como consecuencia, dichas

moléculas pueden romperse, apareciendo en su lugar otros productos químicos. Por tanto, este efecto es sumamente dependiente de la longitud de onda a la que emite el láser y de la composición química del tejido.

Los láseres más utilizados en cirugía son el de CO<sub>2</sub>, Nd:Yag e iónico de Ar.

El 90 por 100 de la energía emitida por el láser de CO<sub>2</sub> (10,6 μm) se absorbe, prácticamente, en la superficie del tejido, alcanzándose, rápidamente, temperaturas superiores a 100° C. El agua presente en estas capas es evaporada y, simultáneamente, los residuos celulares son carbonizados. Sin embargo, la temperatura de las capas más internas permanece generalmente por debajo de los 100° C., lo que provoca su coagulación. Estas características hacen que el láser de CO<sub>2</sub> sea una herramienta de gran utilidad para cortar tejido coagulando al mismo tiempo. El diámetro de los vasos que pueden cauterizarse con este láser está comprendido entre 0,5 mm y 1 mm de diámetro.

El láser de Nd:Yag (1,06 μm) se utiliza como bisturí en los casos en los que existan hemorragias masivas, pues su mayor profundidad de penetración posibilita un control muy eficaz de las mismas, sellando vasos con diámetros superiores a los 2 mm. Este láser presenta la ventaja de poder ser guiado a través de fibras ópticas, lo que permite trabajar en zonas internas del organismo. En este sentido ha sido utilizado en el tratamiento de úlceras gástricas y de varices esofágicas. Entre las apli-



*Con la aparición de láseres con emisión en la zona ultravioleta del espectro (que pueden provocar cáncer de piel en exposiciones continuadas) y láseres de alta potencia con emisión infrarroja (capaces de producir quemaduras en fracciones de segundo) el estudio de los efectos en piel y la necesidad de tomar medidas de protección apropiadas ocupa un lugar importante en el apartado de la seguridad láser.*

caciones no quirúrgicas más importantes de este láser cabe destacar el análisis de fluidos biológicos. Esta técnica permite determinar en tiempo real y de forma muy rápida la composición de fluidos, sin necesidad de analizar grandes muestras.

El láser iónico de Ar emite en seis longitudes de onda (457,9 nm - 514,5 nm), pudiendo seleccionar la que más interese. Este láser se utiliza en cirugía, oftalmología y dermatología, donde es una ventaja el que el haz sea visible, ya que permite controlar mejor la zona que se está irradiando. En oftalmología ha sido empleado con éxito en operaciones de desprendimiento de retina y de coagulación de hemorragias. Con este láser es posible sellar vasos sanguíneos con diámetro menor que 2 mm.

Los láseres de colorantes (dye-laser) también emiten radiación dentro de la zona del visible. Estos láseres pueden emitir en una banda ancha de longitudes de onda y el usuario puede «sintonizar» aquella que más le interese, de acuerdo con las características espectrales del tejido a irradiar. La banda de longitudes de onda varía en función del colorante que actúa como medio láser.

Estos láseres han sido empleados con éxito en la reducción de angiomias, tratamiento que habitualmente es realizado con láser de Ar. Con este último se obtienen buenos resultados en el 70% de los casos, mientras que usando un láser de colorante y seleccionando una longitud de onda de 577 nm, el porcentaje de éxito aumenta al 100 por 100. Otra aplicación en la que se ha de-

mostrado la utilidad de este tipo de láseres es en la destrucción de piedras del riñón, presentando frente a los ultrasonidos la doble ventaja de destruir piedras que no pueden ser alcanzadas por estos últimos y de que su costo es un 10 por 100 del de un sistema de ultrasonidos.

Por último, hay que resaltar una nueva técnica de terapia y diagnóstico del cáncer, denominada «terapia fotodinámica». Esta técnica está basada en la absorción selectiva que presentan las células tumorales de una sustancia colorante, denominada «hematoporfirina» (HpD) y de las sustancias derivadas de ella. Dicha sustancia presenta un coeficiente de absorción muy alto para longitudes de onda comprendidas entre 620 nm y 630 nm.

Sintonizando un láser de colorantes en esta longitud de onda, se irradia el tejido y, consecuentemente, las células que contengan HpD (células tumorales) se vuelven fluorescentes, siendo fácilmente localizables. Al mismo tiempo, el HpD reacciona químicamente al ser irradiado, produciéndose la destrucción de las células malignas. A pesar de los éxitos obtenidos con este método, su aplicación es todavía altamente cuestionada, por desconocerse en profundidad los efectos secundarios asociados al colorante.

Finalmente, sin agotar las aplicaciones médicas, cabe citar los láseres de excímero, que emiten en el UV, y que han sido aplicados para modelar la córnea y corregir la miopía y la hipermetropía aprovechando que el proceso de ablación permite eliminar capas muy finas de tejido sin dañar al que se encuentra debajo. Esta aplicación se encuentra todavía en fase experimental.

## LASERES Y MEDIOS DE COMUNICACION

El conjunto formado por las fuentes láser y fibras ópticas permite transmitir un volumen de información muy superior al asociado a los métodos tradicionales. Ello es debido, por un lado, a la alta frecuencia de la radiación emitida por los láseres y, por otro, a las pequeñas dimensiones de las fibras ópticas. Para dar una idea de la potencialidad de esta nueva tecnología, empleando láseres emitiendo en el visible podrían, teóricamente, llegar a transmitirse hasta 100 millones de canales de TV y una única fibra puede transmitir el equivalente a más de mil conversaciones telefónicas.

Los discos ópticos son, en la actualidad, la alternativa a los sistemas convencionales de almacenamiento de la información, como consecuencia de las características que presentan en cuanto a su gran capacidad de almacenamiento y acceso rápido a la información. A esto hay que sumar una vida media muy superior. Estas propiedades son debidas a que la información es grabada y leída por medios ópticos, lo que evita cualquier posible contacto físico entre las cabezas de lectura e impresión con el material.

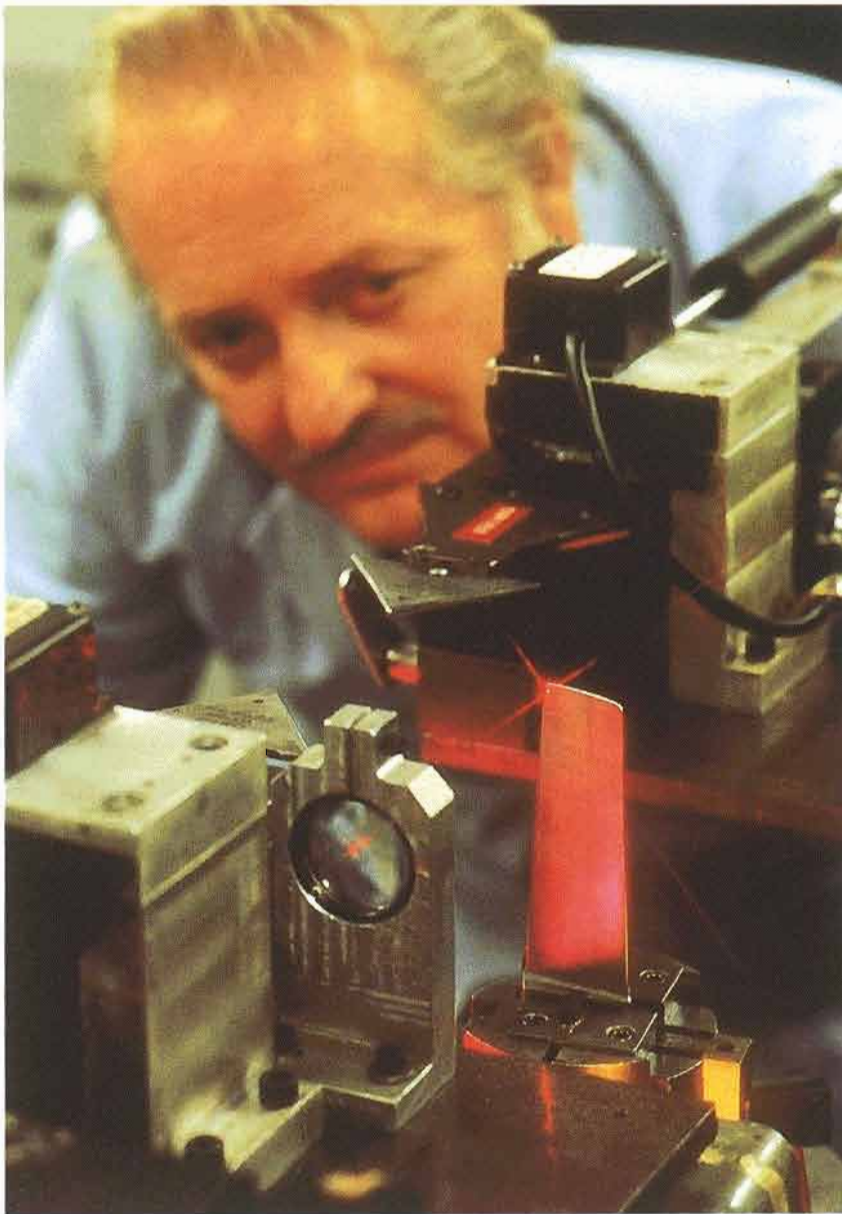
Tanto para la grabación como para su posterior lectura pueden utilizarse diversos láseres como los de ión Ar, HeNe, HeCd y el láser de semiconductor AlGaAs.

Dentro de este apartado haremos mención también a las impresoras láser, debido a la gran expansión que han tenido en los últimos años. Presentan, como características más relevantes, su alta velocidad (por encima de las 100 páginas por minuto) y su alta calidad de impresión, muy por encima de la presentada por las impresoras de impacto. En la actualidad los costes de estas impresoras se están aproximando a los de las convencionales.

## LASERES EN EL CAMPO CIENTIFICO

Las características de la radiación emitida por los láseres han permitido estudiar más profundamente los procesos de interacción luz-materia. Esto ha posibilitado conocer con una mayor exactitud la estruc-

*El láser Nd: YAG (1,06 um) se utiliza como bisturí en los casos en los que existan hemorragias masivas, pues su profundidad de penetración posibilita un control muy eficaz de las mismas, sellando vasos con diámetros superiores a los 2 mm. Este láser presenta la ventaja de poder ser guiado a través de fibras ópticas, lo que permite trabajar en zonas internas del organismo.*



*Con láseres de infrarrojo como los usados en cirugía es preciso tomar precauciones especiales, frente al riesgo de inflamación y explosión de gases, por ejemplo, en el caso de intervenciones con anestesia y respiración asistida.*

tura de los átomos, moléculas y núcleos.

Como aplicación práctica de estos estudios, en los últimos años se está trabajando de forma muy activa en la fusión nuclear como fuente de energía «limpia». En estos experimentos, los láseres de alta potencia juegan un papel importante en la iniciación de la fusión nuclear.

## PROTECCION

La gran expansión en el uso del láser hace necesario que los potenciales usuarios o receptores de este valioso nuevo producto de la ciencia moderna sean conscientes de los riesgos y daños que pueden producirse con una incorrecta o negli-

gente utilización. No debe olvidarse a este respecto que aplicaciones del láser se encuentran tanto en tecnologías aparentemente lejanas del gran público como en otras progresivamente más mayoritarias y accesibles.

Tal vez merecerían mención especial una serie de utilidades potencialmente peligrosas, ya que en ellas la luz láser no se encuentra confinada en sistemas cerrados, o se emplean niveles relativamente altos de energía, o incluso se dan simultáneamente ambas circunstancias. Es el caso de exhibiciones artísticas, publicitarias o musicales, u otros usos cada vez más extendidos en clínicas de rehabilitación, estética o acupuntura. En algunas de estas situaciones, los haces de luz láser pueden entrañar especiales riesgos,

al estar implicados miembros del público sin información.

Las principales fuentes de peligro de un equipo láser y de las cuales se tiene constancia en la literatura científica que son las causantes de la mayor parte de los accidentes y lesiones que hasta la fecha se han producido, pueden resumirse en las siguientes consideraciones:

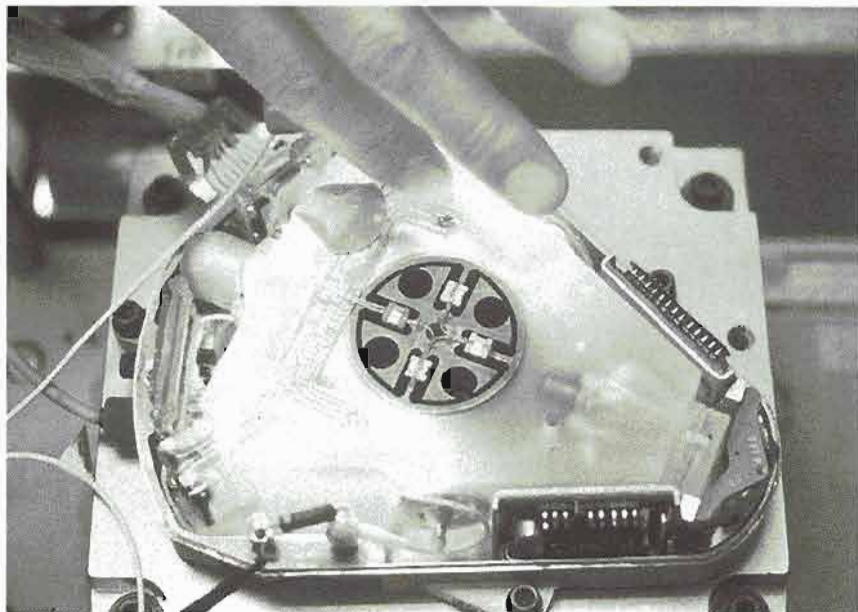
1. La radiación láser es más peligrosa que cualquier otra forma de luz, dadas sus especiales características de propagación e intensidad ya mencionadas, y puede provocar quemaduras instantáneas en la córnea y/o retina, dependiendo del tipo de láser, o quemaduras en la piel (especialmente con láseres de emisión en el infrarrojo). Con exposiciones continuadas pueden producirse cánceres de piel (con láseres de emisión ultravioleta), daños en la retina o aparición de opacidades en córnea o cristalino (cataratas).

2. La luz láser puede inducir ciertas reacciones químicas, especialmente peligrosas en el caso de gases tóxicos o inflamables.

3. Los equipos láser de alta potencia son especialmente peligrosos, dado que emplean fuentes de alta tensión y, en ocasiones, en sistemas de refrigeración líquidos, por lo que el riesgo de electrocución puede ser importante.

Las lesiones oculares son las más frecuentes, y en los casos en que se han producido, todas, hasta la fecha, han sucedido a personas que no llevaban gafas protectoras, o empleaban un filtro no adecuado al láser utilizado. Este tipo de lesiones puede tener lugar en cualquiera de las estructuras del ojo, dependiendo

*El láser también ha permitido superar los problemas inherentes a la perforación de agujeros en las cerámicas utilizadas en circuitos electrónicos. En el caso de materiales blandos, tales como la goma o el papel, la utilización de estas fuentes permite practicar agujeros sin deformar el material.*



del tejido que absorba mayor cantidad de energía radiante. Los efectos en retina se producen con láser de emisión en la región del espectro del visible e infrarrojo cercano.

La luz directa o reflejada que penetra en el ojo con estas longitudes de onda se focaliza en la retina en una imagen extremadamente pequeña, del orden de 10 micras, y con una irradiancia que puede llegar a ser hasta 100.000 veces mayor que la incidente en la córnea. (A este respecto no debe olvidarse que la intensidad de luz que llega a la córnea proveniente de un láser de baja potencia puede ser unas 1.000 veces superior a la de la visión directa al disco solar.)

Desde el punto de vista de la protección, los efectos en la piel se han considerado tradicionalmente de importancia secundaria. Sin embargo, con la aparición de láseres con emisión en la zona ultravioleta del espectro (que pueden provocar cáncer de piel en exposiciones continuadas) y láseres de alta potencia con emisión infrarroja (capaces de producir quemaduras en fracciones de segundo) el estudio de los efectos en piel y la necesidad de tomar medidas de protección apropiadas ocupa un lugar importante en el apartado de la seguridad láser.

Algunas aplicaciones con láseres de alta potencia, especialmente en fundición y cortado de materiales o cirugía, han provocado lesiones respiratorias al producirse vapores con contaminación microbiana o tóxicos. La necesidad de utilizar sistemas de ventilación y extracción de humos en estas aplicaciones es obvia.

Con láseres de infrarrojo como los usados en cirugía es preciso tomar precauciones especiales, frente al riesgo de inflamación y explosión de gases, por ejemplo, en el caso de intervenciones con anestesia y respiración asistida. Sin embargo, el peligro más letal asociado con láseres de alta potencia es el de electrocución con las fuentes de alta tensión que permiten el funcionamiento de estos equipos. Al menos tres accidentes fatales de este tipo se han producido en los Estados Unidos en los últimos años.

Prácticamente todos los protocolos de protección y seguridad láser que actualmente rigen en países como Estados Unidos, Reino Unido, Francia, República Federal Alemana, Canadá, Australia, etc., o las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, clasifican los láseres según su peligrosidad en cuatro grandes grupos, con arreglo al tipo y potencia de la emisión láser y se dan normas de utilización en cada grupo. Básicamente la clasificación describe, con un número del 1 al 4 la probabilidad del láser de provocar daños. Una breve descripción de cada clase sería la siguiente:

— Clase 1. Se consideran clase 1 los láseres o sistemas láseres que no pueden producir, en condiciones normales de utilización, daño alguno. Normalmente en estos sistemas la radiación láser no alcanza el exterior del sistema.

— Clase 2. Se refiere a láseres de baja potencia que emiten en el visible y que normalmente no producirán lesiones en exposición accidental dada la aversión natural del ojo a fijar la imagen en una luz brillante,

pero que pueden presentar peligro si se mantiene la visión directa al haz durante periodos de tiempo prolongados.

— Clase 3. Láseres de riesgo medio y potencia media, se subclasifican en la mayoría de los protocolos en *Clase 3a*, donde se consideran los láseres que no producen lesiones en visión momentánea directa, pero que pueden provocar lesiones cuando la luz se focaliza con dispositivos ópticos y *Clase 3b* que provocan daño en visión directa o reflexión especular.

— Clase 4. Láseres que pueden producir lesiones incluso en reflexiones difusas. Además estos láseres pueden provocar lesiones en piel y existe el peligro de incendio y explosión.

La mayor parte de las legislaciones sobre láseres toman como punto de partida esta clasificación y asumen las recomendaciones de las normas estadounidenses publicadas por el «American National Standard Institute», 'Standard for the Safe use of Lasers' (ANSI, Z.136.1, 1980) y recientemente la edición (ANSI, Z.136.3) dedicada exclusivamente a los controles adecuados para láseres médicos. Esta edición titulada «Laser Safety in the Health Care Environment» contiene información acerca de cursos de adiestramiento, material de seguridad necesario, protección ocular, medidas y monitorización de potencias, revisión de los equipos y control de áreas restringidas.

Una de las primeras recomendaciones de la ANSI Z.136.3 es que los Hospitales deberán designar una Comisión Médica de Láser o Comité

El láser utilizado como soldador se aplica, en la actualidad en la industria pesada, tras el desarrollo de láseres de CO<sub>2</sub>, con ellos se han conseguido soldar planchas de acero de decenas de mm de espesor a una velocidad de algunos metros por minuto.

una luz brillante y fija la mirada en el haz láser.

La mayoría de los láseres que entran en la clase 2 son láseres de helio-neón de potencia no superior a un miliwatio. El producto debe llevar una etiqueta de precaución y llevar un indicador luminoso que indique la situación de encendido. Las dos reglas básicas de seguridad para el operador de estos láseres: no permitir a ninguna persona fijar la mirada en el haz directo y no dirigir la luz láser a los ojos. Ambas precauciones deben consignarse por escrito, en una señal de aviso.

c) Protocolos de protección para los láseres de clase 3.

Las medidas de control para estos láseres de potencia media están dirigidas predominantemente a evitar la llegada del haz al ojo que, en caso de producirse, provocaría lesiones graves. Pueden mencionarse las siguientes.

— nunca dirigir el haz de estos láseres a nivel de los ojos;

— utilizar gafas con filtros adecuados;

— permitir la utilización de este tipo de láseres únicamente a personal autorizado y experimentado;

— limitar la trayectoria del rayo al mínimo posible, terminando su camino con superficies absorbentes,

— operar el láser en recintos cerrados con ventanas con filtro y acceso controlado y correctamente señalizado;

— eliminar superficies reflectantes en la cercanía del láser.

— etiquetar el láser con una señal de peligro en la que aparezca la clase 3 y las recomendaciones más importantes para esta clase. 5 y 6).

d) Reglas de seguridad para los láseres de clase 4.

Las siguientes reglas deben seguirse cuidadosamente con los láseres de alta potencia:

— confinar el láser en una habitación cerrada con puertas que no puedan abrirse desde el exterior cuando el láser está en funcionamiento;

— asegurar que todo el personal lleva gafas de protección y en los casos de peligro de lesiones en piel o riesgo de incendio asegurar que entre el personal y el haz existen filtros protectores;

— usar sistemas de disparo del láser a distancia y de visión por monitores cuando sea posible;

— en el caso de emisión al exterior, asegurarse de que el haz láser no alcanza áreas ocupadas o con

posibilidad de interceptar vehículos o aviones.

— asegurarse de que el sistema láser sólo pueda ser encendido por personal autorizado utilizando sistemas de encendido con llave;

— etiquetar con señales de peligro tanto el láser como las zonas de acceso al mismo y prestar una atención especial al sistema de alta tensión del sistema, que debe en todo caso estar separado en lo posible del panel de mandos. Son deseables en este caso la existencia de procedimientos escritos de operación y precauciones y planes de formación del personal y de emergencia.

## BIBLIOGRAFIA

- American National Standard Institute: «Standard for the Safe use of lasers», ANSI Z.136.1, 1980.
- American National Standard Institute: «Laser Safety in the Health Care environment», ANSI Z.136.3, 1987.
- Laser Institute of America: «Laser Safety Guide», LIA publication, 1974.
- British Standard Institution: «Radiation Safety of laser products and systems», BS 4803, 1983.
- Department of Health and Social Security: «Guidance on the safe use of lasers in medical practice». Her Majesty's Stationary Office, 1984.
- World Health Organization. «Non-ionizing radiation Protection». WHO Regional Publications European Series, N.º 10, 1982.
- D. SLINEY, M. WOLBARTSHT. *Safety with Lasers and other optical sources*. Plenum Press, 1980
- E. VAÑO, M. CHEVALIER, E. GUIBELALDE: «La necesidad de la valoración física de las instalaciones láser en Medicina» en *Nuevas Técnicas Diagnósticas y Terapéuticas en patología del aparato locomotor*. Ed Fundación Mapfre, 1986.
- E. GUIBELALDE, L. GOLDMAN: «25 años de experiencia en aplicaciones médicas del láser en Estados Unidos. Una experiencia útil para España». *Investigación y Clínica Láser*, 1986, págs. 134-137.
- J. WILSON and J.F.B. HAWKES «Lasers principles and Applications». Ed. Prentice Hall, *International Series in Optoelectronics*, 1987.
- J. HECHT and D. TERESI: *El rayo láser*. Ed. Biblioteca Científica Salvat, 1987.
- «Lasers and their Applications», *Proceedings of the 4th Summer School on Quantum Electronics*. Ed. por A. Y. Spasov, World Scientific Pub., 1987.
- *Laser safety in surgery and Medicine*. Ed. por R. J. Rockwell, Rockwell Associates, 1985.
- L. GOLDMAN: *The biomedical laser*. Ed. por L. Goldman Springer-Verlag, 1981.

de Seguridad Láser para supervisar el uso del láser en su centro. Este comité deberá nombrar un Oficial de Seguridad Láser que será el responsable de establecer las medidas de control y programas de seguridad. Por otra parte, los usuarios del láser deben asistir a programas de tecnología y seguridad láser incluyendo orientaciones prácticas.

Los controles y procedimientos necesarios para garantizar una utilización segura de los láseres varían con la clasificación del láser y el tipo de instalación donde se ubica el láser. A continuación se enumeran por clases de láser algunos de los procedimientos o precauciones a tener en cuenta en su utilización.

a) Protocolos de protección para los láseres de clase 1.

En esta categoría, por ejemplo los pequeños láseres de arseniuro de galio, tenemos por definición sistemas que no pueden considerarse peligrosos, incluso si su radiación alcanza la pupila del ojo, por lo que no se requieren procedimientos especiales de seguridad, si bien, y dado que la emisión láser suele estar confinada, debe señalizarse el panel de acceso al láser con una etiqueta de aviso en la que señale la clasificación del láser allí contenido.

b) Protocolos de protección para los láseres de clase 2.

Puesto que los láseres de baja potencia y emisión en el visible que aparecen en esta categoría son incapaces de producir daño en el tiempo de duración de parpadeo reflejo del ojo (0,25 s), el peligro sólo se produce si el individuo conscientemente supera la aversión natural a